

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕД
ВАНТАЖНИХ ЛОКОМОТИВІВ

Пояснювальна записка і розрахунки
до магістерської кваліфікаційної роботи

МКРМЕ. 410. 12. 01. ПЗ

Розробив здобувач групи 211-ЛЛГ-Д23
спеціальності 273 «Залізничний транспорт»
Освітня програма:
«Локомотиви та локомотивне господарство»
Павлюх В. М.

Керівник: доцент
Михалків С. В.

Рецензент: докт. техн. наук, професор
Жалкін Д. С.

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет механіко-енергетичний

Кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу

Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр

Спеціальність: 273 Залізничний транспорт

Освітня програма: «Локомотиви та локомотивне господарство»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,
професор, д-р техн. наук
В. Г. Пузир

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Павлюху Віталію Миколайовичу

1 Тема «Удосконалення технології діагностування ТЕД вантажних локомотивів

Керівник проекту Михалків Сергій Васильович, доцент

Затверджені розпорядженням механіко-енергетичного факультету від
«30» вересня 2024 року № 38

2 Строк подання студентом закінченої роботи «23» грудня 2024 р.

3 Вихідні дані до роботи Наказ Укрзалізниці №429-ЦЗ від 15.11.2015 р.
«Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного
обслуговування тягового рухомого складу (електровозів, тепловозів, електро- та
дизель-поїздів)», «Конструкція тягового електродвигуна ЕД-141АУ1 електровоза
ДЕ1»

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань які потрібно
розробити) 1 Аналіз відмов тягових електричних двигунів електровозів ДЕ1.

2 Мета й завдання технічного діагностування підшипникових вузлів локомотивів.

3 Оцінка технічного стану за загальним рівнем вібрації. 4 Проведення

віброакустичного діагностування підшипникових вузлів ТЕД ЕД-141У1. Список
використаних джерел

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових
креслень) Локомотивне депо Нижьодніпровськ-Вузол регіональної філії
АТ «Придніпровська залізниця». Види несправностей ТЕД ЕД-141 електровозів
ДЕ1. Структури технології вібродіагностування механічних вузлів ТРС.
Вібродіагностування ТЕД ЕД-141АУ1 вантажного електровоза ДЕ1.
Зареєстровані вібраційні сигнали пошкоджених підшипникових вузлів ТЕД.

Оцінювання зареєстрованих сигналів статистичними величинами вібрації.
Результати обчислення статистичних величин зареєстрованих вібрацій.
Широкополосні спектри вібрації моторно-якірних підшипників ТЕД ЕД-141АУ1.
Висновки.

6 Консультанти окремих розділів

Розділ проекту	Прізвище, ініціали, посада та науковий ступінь консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Техніко-економічне обґрунтування	Яковенко В. Г., канд. екон. наук		

7 Дата видачі завдання «10» жовтня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1. Збирання та обробка статистичної інформації	01.10- 09.10.2024	Виконано
2. Розробка основних розділів пояснювальної записки	10.10- 19.10.2024	Виконано
3. Розробка та написання проектної частини роботи	20.10- 30.10.2024	Виконано
4. Розробка графічного матеріалу роботи	01.11- 11.11.2024	Виконано
5. Розробка дослідного розділу	12.11- 19.11.2024	Виконано
6. Розробка економічної частини роботи. Підпис економічного розділу у консультанта	20.11- 24.11.2024	Виконано
7. Комплектування пояснювальної записки	25.11- 30.11.2024	Виконано
8. Нормоконтроль	01.12- 20.12.2024	Виконано

Студент _____ В. М. Павлюх

Керівник _____ С. В. Михалків

Зміст

Вступ	6
1 Аналіз відмов тягових електричних двигунів електровозів ДЕ1	8
1.1 Види несправностей тягових електричних двигунів електровозів ДЕ1 в експлуатації	8
1.2 Причини незадовільної роботи колекторно-щіткового вузла та підшипників кочення	12
1.3 Кількісні показники роботи локомотивів	20
1.3.1 Пробіг локомотивів у локомотиво-кілометрах	20
1.3.2 Робота локомотивів у локомотиво-кілометрах	22
1.4 Якісні показники роботи локомотивів	23
1.4.1 Середньодобовий пробіг локомотивів	23
1.4.2 Середня маса потягу	24
1.4.3 Відсоток несправності локомотивів	25
1.5 Огляд методів діагностування вузлів колісно-моторного блоку тягового рухомого складу	25
2 Технічна діагностика підшипникових вузлів локомотивів	30
2.1 Технічна діагностика і прогнозування	30
2.2 Мета й завдання діагностування підшипникових вузлів локомотивів	32
2.3 Аналіз методів і засобів моніторингу та діагностики підшипникових вузлів локомотивів	34
2.3.1 Акустичний метод	35
2.3.2 Діагностика за загальним рівнем вібрації	38
2.3.3 Діагностика за спектрами вібросигналів	43

					МКРМЕ.410.12.04.ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат.					
Розробив	Павлюх				Удосконалення технології діагностування ТЕД вантажних локомотивів	Лит.	Лист	Листів	
Перевірів	Михалків							4	95
Рецензент	Жалкін					УкрДУЗТ			
Н. Контр.	Анацький								
Затвердив	Пузир								

2.3.4	Метод акустичної емісії	48
3	Акустико-емісійний метод діагностики підшипникових вузлів локомотивів	50
3.1	Акустична емісія та її основні параметри	51
3.2	Акустична емісія при роботі підшипникових вузлів	56
3.3	Інформаційний зміст параметрів акустичної емісії під час діагностування підшипникових вузлів	57
3.3.1	Кількість імпульсів, інтенсивність потоку імпульсів	58
3.3.2	Детекторний лік імпульсів	59
3.3.3	Амплітуда, амплітудний розподіл, амплітудно-часовий розподіл	60
3.3.4	Спектральна щільність	61
3.3.5	Кореляційна функція	62
3.3.6	Енергія акустичної емісії	63
4	Проведення віброакустичного діагностування підшипникових вузлів ТЕД	66
4.1	Загальні принципи діагностування ТРС	66
4.2	Алгоритми й структура комплексу вібродіагностики механічних вузлів ТРС	69
4.2.1	Діагностичні ознаки появи несправностей у підшипниках кочення	74
5	Визначення економічної ефективності вібродіагностування ТЕД електровозів ДЕ1	83
5.1	Коротка характеристика запропонованого заходу	83
5.2	Методика розрахунку економічного ефекту	83
5.3	Вихідні дані, що необхідні для розрахунку економічного ефекту	87
	Висновки	93
	Список використаних джерел	94

АНОТАЦІЯ

Дана магістерська кваліфікаційна робота містить 11 слайдів презентації, 134 аркуші пояснювальної записки формату А4, що включає 29 рисунків, 8 таблиць, 16 літературних джерел.

Ключові слова: ВІБРАЦІЯ, ІНДИКАТОР, ЛОКОМОТИВ, ПІДШИПНИК, ТЯГОВИЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ ДВИГУН, ЧАСТОТА.

Об'єкт дослідження – тяговий електродвигун електровоза ДЕ1.

Мета магістерської роботи полягає в підвищенні ефективності технології діагностування тягових електродвигунів ЕД-141АУ1 електровоза ДЕ1.

У магістерській роботі розглядається види несправностей тягових двигунів електровозів ДЕ1, зокрема встановлена велика кількість відмов їх електричної частини і механічної частини, а саме підшипників кочення. Запропоновані методи вібродіагностування, які зосереджені на обробці сигналу в часовому й частотному просторах. Запропоновані статистичні індикатори технічного стану. Установлена висока чутливість коефіцієнта ексцесу до імпульсних компонент сигналів. Широкосмугові спектри вібрації надали частотні діапазони з резонансними сплесками, походження яких можна асоціювати джерелом пошкоджень підшипників.

За результатами підрахована економічна ефективність від упровадження запропонованих методів у технологію ремонту тягових електричних двигунів електровозів.

ABSTRACT

This master's qualification work includes 11 presentation slides, 134 sheets of explanatory notes in A4 format, including 29 figures, 8 tables, 16 references.

Keywords: BEARING, FREQUENCY, INDICATOR, LOCOMOTIVE, TRACTION ELECTRIC MOTOR, VIBRATION.

The object of the study is the traction motor of electric locomotive DE1 series.

The purpose of the master's thesis is to increase the efficiency of the technology of diagnostics of the traction electric motors ED-141AU1 of electric locomotive DE1.

In the master's thesis the types of malfunctions of traction motors of electric locomotives DE1 series are considered, in particular, a large number of failures of their electrical part and mechanical part, namely rolling bearings, are determined. Proposed methods of vibration diagnostics, which focus on signal processing in time and frequency domain. Statistical indicators of technical condition are proposed. High sensitivity of the kurtosis to the impulse signal components is established. Broadband vibration spectra provided frequency ranges with resonant bursts, the origin of which can be associated with the source of bearing damage.

According to the results, economic efficiency from the implementation of the proposed methods in the technology of repair of traction electric motors of electric locomotives is calculated.

Вступ

Одним із ключових моментів для соціально-економічного зростання країни та її стійкості у часи зовнішньої військової агресії є потреба підвищення безпеки функціонування залізничного транспорту та безперебійності руху поїздів. Безпека руху поїздів є основною умовою експлуатації залізниць, перевезень пасажирів і вантажів. Усі організаційні й технічні заходи на залізничному транспорті повинні відповідати вимогам безпечного й безперебійного руху поїздів. Безпека руху має забезпечуватись утриманням усіх локомотивів у справному стані. Мають висуватись жорсткі вимоги до технічного стану вузлів і агрегатів локомотивів, зокрема до тягових електричних двигунів (ТЕД).

Упровадження діагностичних засобів у технологію ТО й ПР має набути широкого поширення, зокрема засобів вібраційного діагностування, які дадуть змогу вчасно виявити пошкодження елементів механічних вузлів, які перебувають у передаварійному стані і запобігти позапланового ремонту. Зможуть спрогнозувати розвиток пошкодження, що зароджується для вчасної заміни пошкодженого вузла для запобігання аварій.

Мета дослідження — підвищення ефективності технології діагностування тягових електродвигунів електровоза ДЕ1.

Об'єкт дослідження — тяговий електродвигун електровоза ДЕ1.

Предмет дослідження — технологія діагностування тягового електродвигуна електровоза ДЕ1.

У роботі поставлені такі завдання:

1) Отримати розподіл відсотку непланових ремонтів за видами несправностей ТЕД електровозів ДЕ1.

2) Обрати дієві методи вібродіагностування для їх використання в технології ТО і ПР ТЕД електровозів.

3) З-поміж отриманих результатів діагностування методами у різних просторах обрати ті, які демонструють найвищу чутливість до пошкоджень підшипників кочення.

4) Здійснити техніко-економічне обґрунтування впровадження засобів вібродіагностування ТЕД електровозів ДЕ1.

Висновки

1) За результатами аналізу відмов електровозів ДЕ1 протягом певного періоду встановлено, що найбільша їх кількість припадає на несправності колекторного вузла та підшипників кочення ТЕД, що формує потребу придбання засобів діагностування.

2) Найбільш розповсюдженими підходами до реалізації діагностування за вібраційними характеристиками є аналіз вібрації у часі з подальшим розрахунком відповідних індикаторів та знаходження частот обертання підшипникових елементів на отриманих спектрах у межах частотного підходу.

3) Обчислення статистичних індикаторів продемонстрували їх низьку ефективність через неможливість визначення виду пошкоджень підшипників. Кращі результати надали спектри вібрації побудовані у широких частотних діапазонах, оскільки наповнені вираженими імпульсними сплесками у відповідних частотних діапазонах, що дозволить у подальшому обирати ці діапазони для побудови спектрів обвідної вібрації для можливості визначати пошкоджені елементи підшипників кочення.

4) Економічний ефект за розрахунковий період становить 1741571 грн, одноразові витрати на придбання комплексу з вібродіагностування окупаються на шостому році.

Список використаних джерел

- 1 Губаревич О. В. Надійність і діагностика електрообладнання: підручник. Вид-во СХУ ім. В. Даля: Сєвєродонецьк, 2016. 248 с.
- 2 Korbicz J., Kowalczyk Z., Kościelny J. M., Cholewa W. Fault Diagnosis. Models, Artificial Intelligence, Applications: book. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004. P. 922.
- 3 Tzafestas S. Expert Systems in Engineering Applications: book. Springer-Verlag Berlin: Heidelberg, 1993. P. 383.
- 4 Maier A., Oehmen J., Vermaas P. E. Handbook of Engineering Systems Design: handbook. Springer: Cham, 2021. P. 980.
- 5 Isermann R. Fault-Diagnosis Applications. Model-Based Condition Monitoring: Actuators, Drives, Machinery, Plants, Sensors, and Fault-tolerant Systems: book. Springer Berlin: Heidelberg, 2011. P. 354.
- 6 Malik H., Iqbal A., Yadav A. K. Soft Computing in Condition Monitoring and Diagnostics of Electrical and Mechanical Systems. Novel Methods for Condition Monitoring and Diagnostics: book. Springer Singapore, 2020. P. 496.
- 7 Childs P. R.N. Mechanical Design Engineering Handbook: handbook. Elsevier: Butterworth-Heinemann, 2019. P. 968.
- 8 Тартаковский Э. Д., Игуменцев Е. А., Погребняк А. В. Совершенствование технологии диагностирования подшипников качения по вибрационным характеристикам. Харьков: ХИИТ, 1990. 20 с.
- 9 Simmons C. H., Phelps N. and Maguire D. E. Manual of Engineering Drawing: book. Elsevier: Butterworth-Heinemann, 2012. P. 369.
- 10 Crowder R. Electric Drives and Electromechanical Systems. Applications and Control: book. Elsevier: Butterworth-Heinemann, 2019 P. 307.
- 11 Zhao J., Xu L., Liu L. Equipment fault forecasting based on ARMA model. International Conference on Mechatronics and Automation (Harbin, 05 —

08 Aug. 2007). Harbin, 2007. P. 3514 —3518. <https://doi.org/10.1109/ICMA.2007.4304129>

12 Zheng K., Li T.Zhang B.Zhang Y.Luo J.Zhou X. Incipient fault feature extraction of rolling bearings using autocorrelation function impulse harmonic to noise ratio index based SVD and Teager energy operator // *Applied Sciences*. 2017. Vol. 7(11). P. 1117—1135. <https://doi.org/10.3390/app7111117>, , , ,

13 Zhang P-L., Li B., Mi S-S., Zhang Y-T., Liu D-S. Bearing fault detection using multi-scale fractal dimensions based on morphological covers. *Shock and Vibration*. 2012. Vol. 19(6). P. 1373 —1383.

14 Zhang S., Tang J. Gearbox fault diagnosis based on time-frequency domain synchronous averaging and feature extraction technique. Proceedings SPIE Smart Structures and Materials + Nondestructive Evaluation and Health Monitoring (Las Vegas 08 Apr. 2016). Las Vegas, 2009. 98040K.

15 Endo H. Enhancement of autoregressive model based gear tooth fault detection technique by the use of minimum entropy deconvolution filter [Text] / H. Endo, R.B. Randall // *Mechanical Systems and Signal Processing*. — 2007. — Vol. 21(2). — P. 906 — 919.

16 Tse P.W. Wavelet analysis and envelope detection for rolling element bearing fault diagnosis — their effectiveness and flexibilities [Text] / P.W. Tse, Y.H. Peng, R. Yam // *Journal of Vibration and Acoustics*. — 2001. — Vol. 123(3). — P. 303 — 310.